



DNAの金属被覆によるナノワイヤの形成とその電気的特性評価

著者	氷室 貴大
発行年	2016-03-25
学位授与番号	17104甲生工第260号
URL	http://hdl.handle.net/10228/5641

氏名・(本籍)	氷室 貴大 (福岡県)
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	生工博甲第260号
学位授与の日付	平成28年3月25日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	DNA の金属被覆によるナノワイヤの形成とその電気的特性評価
論文審査委員会	委員長 教 授 西田 治男
	〃 内藤 正路
	〃 石黒 博
	〃 春山 哲也
	〃 平木場浩二

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、還元基を有するインターカレータを用いることで2本鎖DNAを特異的に金属被覆し、その電気的な特性を明らかにすることを主な目的としている。DNAの金属被覆により導電性ナノワイヤを形成する研究が盛んに行われているが、従来研究ではワイヤ径が不均一である、DNAに対する合成処理を必要とするなどの問題があった。また、ナノワイヤの電気的特性を評価する従来手法は貧弱であり、さらにナノワイヤの応用例を具体的に示した研究は皆無であった。本論文の手法は、インターカレーションによってDNAの周囲に還元基を配列させ、その還元基によってDNA近傍の銀イオンを還元するため、均一径のナノワイヤを形成できる。また、DNAに対する合成処理を必要としないため、簡便なプロセスでDNAを金属被覆できる。さらに、インターカレーションを利用しているため、2本鎖DNAを特異的に金属被覆できるという特徴を有している。本論文は、DNAの静電配向によりナノワイヤを微小電極間に確実に形成することで、その詳細な電気的特性評価を可能にするとともに、バイオセンサへの応用を実現した点で大きな新規性を有する。

本論文は、以下の5章により構成されている。

第1章では、研究背景、従来研究、研究目的、論文構成が述べられている。

第2章では、DNAを金属被覆する具体的手法が説明され、2本鎖DNAへの特異性を確認するための実験結果が示されている。まず、金属被覆操作前後の1本鎖及び2本鎖の外径をAFMにより測定することで、2本鎖の場合のみで銀ナノワイヤが形成されることを確認している。次に、微小電極間に1本鎖または2本鎖を静電配向により固定化し、金属被覆操作前後の電極間の電気的特性を調べることで、2本鎖に対する特異性を確認している。電気的特性評価において交流インピーダンス法を用い、電極間の等

価回路が抵抗と定位相要素（Constant phase element：CPE）の並列回路を 2 つ直列に接続した回路で表されることを示している。そして、1 本鎖 DNA を金属被覆した場合にその特性が変化せず、2 本鎖 DNA ではその導電性が飛躍的に上昇することを報告している。

第 3 章では、ナノチャネル内で単一のナノワイヤを形成し、その特性評価を行った結果が述べられている。ナノチャネル中に進入した DNA を静電配向により電極間に伸長固定し、ナノチャネル中にインターカレータおよび銀イオンを拡散させ、単一ナノワイヤの形成に成功している。このナノワイヤの直流特性がオームの法則に従うことを確認するとともに、交流インピーダンス法を用いた評価によりナノワイヤ内に寄生容量の存在を確認し銀クラスター間の接触抵抗の存在を示唆している。また、このとき推定された銀の抵抗値から抵抗率を算出し、バルク銀の抵抗率に近い値を得ている。

第 4 章では、1 本鎖／2 本鎖 DNA 複合体の 2 本鎖領域のみを部分的に金属被覆し、DNA 分解酵素（DNase）の検出に応用した結果が述べられている。まず、DNA が部位特異的に金属被覆されたことを AFM 観察と電気的特性評価により確認した後に、マイクロ流路内の電極間に複数本の部位特異的金属被覆 DNA を伸長固定している。そして、DNase による DNA 切断に伴う電極間のインピーダンス増加を計測した結果、その増加率と DNase 濃度との間に正の相関があることを報告している。

第 5 章では、本論文の結論、及び今後の課題と展望が述べられている。

本論文の内容は、世界的にも極めて独創性が高く、学術的にも高度であり、ナノスケールの電子回路やバイオセンサなどに広く有用な基盤技術であると評価できる。また、デバイス製作から実験手法の構築、評価実験までの多大な作業量も高く評価でき、それによって得られた実験結果等も十分に信頼できるものである。

学 位 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文に関し、調査委員及び公聴会出席者から、電極間に固定化されたナノワイヤの本数の推定、単一ワイヤを電極間に接続する技術としての長所、2 本鎖にインターカレータが特異的に挿入される理由、還元基により還元された銀の周囲にさらに多くの銀が析出する理由、AFM 測定における基板の表面粗さの影響、銀以外の金属による被覆の可能性などについて多くの質問がなされた。いずれの質問に対しても、論文提出者から明快な回答が得られ、質問者の理解を得るに至った。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。